



HAL
open science

Étude de cas d'affouillement à long terme et d'ouvrages de défense en bordure du cap-ferret, France

Nedelec Yves

► To cite this version:

Nedelec Yves. Étude de cas d'affouillement à long terme et d'ouvrages de défense en bordure du cap-ferret, France. CFM 2013 - 21ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2013, Bordeaux, France. <hal-03441282>

HAL Id: hal-03441282

<https://hal.science/hal-03441282v1>

Submitted on 22 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

ETUDE DE CAS D'AFFOUILLEMENT A LONG TERME ET D'OUVRAGES DE DEFENSE EN BORDURE DU CAP- FERRET, FRANCE

Y. NÉDÉLEC^a, J. REVEL^a

a. CETE du Sud-Ouest, Département Laboratoire de Bordeaux,
24 rue Carton, CS 41635 ,33073 Bordeaux Cedex

Résumé :

Le Cap-Ferret est une bande de sable d'origine naturelle, qui sépare l'entrée du Bassin d'Arcachon (département de la Gironde), de l'Océan Atlantique. Le Bassin d'Arcachon est une lagune d'une superficie d'environ 174km², qui se remplit et se vide au cours de chaque cycle de marée, le transfert de l'eau se faisant à travers un passage orienté Nord-Sud, d'une largeur d'environ 4 km.

Depuis de nombreuses années, la façade Est du Cap-Ferret subit des glissements du rivage, entraîné vers des fosses creusées par un processus d'affouillement continu. La profondeur de ces fosses atteint 25 m, et s'accroît d'année en année. De nombreuses études ont traité du fonctionnement hydrodynamique général du bassin, et des mouvements particuliers des fonds en son entrée.

Les riverains ont lutté contre ces effondrements du rivage en y déposant régulièrement des matériaux divers, formant ainsi des ouvrages très massifs et continus, qui se substituent parfois au rivage naturel. Malgré cela les effondrements et les affouillements subsistent, entraînant parfois en partie les ouvrages eux-mêmes.

Il s'agit dans cette étude de cas d'examiner plus précisément les processus en interaction : courants de marée, turbulence, affouillement et érosion. Il sont rapprochés des problèmes de sécurité qui se posent, et des ouvrages de protection mis en place depuis les années 50.

Abstract :

The Cap-Ferret, located in France, is a natural sand spit dividing the outlet of the Bassin d'Arcachon (Department of Gironde) from the Atlantic Ocean. The so called Bassin d'Arcachon is a triangular-shaped lagoon, about 174km² in area. This whole area is subject to submersion by tidal inflow, but nearly 65% of it emerges at low tide. Inside the bay, deeper channels convey high tide water towards an outlet of about 4km wide, oriented North-South.

For many years, the South-Eastern side of the Cap Ferret, bordering the Bassin's outlet, has known problems with recurrent and dangerous slumping, a consequence of a slow and long-term erosion process. It is bordered by a very deep part of the outlet, with pits reaching about 25m in depth presently, and still regularly deepening. Many studies have addressed and modeled the Bassin's complex hydrodynamics.

Riparian stakeholders and local authorities have sought for solutions. The former have protected the seashore by mean of intensive and frequent dumping of rip-rap material. Even by doing so, the place remains subject to mechanical instability and is threatened by levee collapse events. On the other hand, a refill of the pits with clamped sand has been considered, though it cannot be seen as a long-term solution.

The present case study investigates the mechanical processes interacting in this complex physical context : tidal flow ,turbulence, scouring, erosion, and slope stability. These are associated to actual risks and public security concerns, as well as practical choices to make.

Mots clefs : littoral, hydrodynamique, talus, stabilité, érosion, génie civil

1 Présentation du site d'étude et enjeux

Le site d'étude est la façade Est du Cap-Ferret. Ce dernier se situe sur le littoral aquitain au Sud-Ouest de la ville de Bordeaux (figure 1). C'est une flèche sableuse qui se déplace sous l'effet de l'érosion et du transit sédimentaire le long des côtes de l'Aquitaine. Elle constitue la bordure Ouest de la voie de circulation des eaux marines entre le Bassin d'Arcachon, lagune résultant de profondes transformations de l'ancien estuaire de la Leyre, et l'Océan Atlantique. Cette voie de circulation est soumise à de forts courant de marée et sujette à une érosion intense des fonds. On observe ainsi au fil des siècles, un déplacement de passes et de bancs de sable, mettant en jeu des volumes considérables de sédiments [1].



FIG. 1 – Carte de situation

Ce déplacement du Cap-Ferret est un phénomène ancien, et des mesures de protection ont été prises par les propriétaires riverains, qui ont mis en place des ouvrages par le dépôt régulier et massif de divers matériaux solides (figure 2).



FIG. 2 – Photographie représentative des ouvrages de protection

Une portion de la façade Est du Cap, longue d'environ 1200 m et débutant à l'extrême Sud de la pointe, a ainsi vu une grande partie des matériaux sableux constituant le rivage, substitués par des blocs rocheux et des résidus de démolition inertes.

Malgré la présence de ces ouvrages, des effondrements brutaux surviennent. Ils concernent tant les parties sableuses jouxtant les ouvrages (figure 3), que parfois les ouvrages eux-mêmes. Le 4 janvier 1999, un

effondrement d'une longueur d'environ 50 m a englouti entièrement des protections en place (cordon d'enrochement en haut de plage), fragilisées en pied par l'abaissement régulier des fonds marins. De tels désordres rendent cette portion du littoral dangereuse, et conduisent à la recherche d'une amélioration de la connaissance des mécanismes impliqués et de l'atténuation de leurs effets néfastes.



FIG. 3 – Photographie d'une portion de plage touchée par un effondrement

2 Description des mécanismes impliqués

Le système considéré ici est le talus littoral et ses protections, constituant sur une longueur d'environ 1200 m la rive Ouest de l'axe de passage des eaux entre le Bassin d'Arcachon et l'Océan Atlantique. On suppose son profil et son tracé suffisamment réguliers (exempts notamment d'angles ou de protubérances trop marquées) pour qu'il soit considéré comme une structure linéaire. Une caractéristique particulière de ce système est son exposition simultanée à des courants aux vitesses localement élevées, et aux effets de la marée. Les ouvrages en place, édifiés depuis le rivage, n'ont en outre pas été conçus pour stabiliser les fonds, ou en tous cas ne le permettent pas dans la durée.

Les processus mécaniques susceptibles d'être en lien avec l'instabilité de ce système, auxquels nous nous intéressons, peuvent être classés suivant différents contextes :

1. le comportement mécanique du talus et de sa protection,
2. le comportement de l'eau au contact du talus, notamment à travers les marées et les courants,
3. les interactions entre l'eau et le domaine solide.

2.1 Comportement mécanique du talus et de sa protection

Ce contexte fait l'objet des connaissances relatives à la stabilité mécanique intrinsèque d'un talus, et de celles relatives à la résistance à la rupture des enrochements. Ce sont des connaissances classiques du domaine de la géotechnique, tant pour le talus sableux [2], que pour d'éventuels enrochements [3]. Elles sont adaptées à l'analyse du système, dans des conditions variables de saturation, en limitant les effets de l'eau à la saturation plus ou moins complète du milieu poreux, et à l'exercice d'une pression hydrostatique contre la face externe.

Sur le tronçon étudié, 15 profils en travers ont été réalisés, en associant une bathymétrie précise, réalisée en avril 2011 par un cabinet de Géomètres Experts, une reconnaissance de la nature des fonds au moyen d'un sonar latéral, et une estimation des matériaux constitutifs des talus à partir des déclarations des propriétaires riverains [4].

Une pente d'équilibre *in situ* de 14° (4H/1V) à 11° (5H/1V), a été déduite de l'examen d'un profil établi au droit d'un effondrement ancien qui a peu évolué peu par la suite. Cette hypothèse rejoint l'approche du coefficient de sécurité d'un talus submergé de pente β , pour un matériau d'angle de frottement interne ϕ , qui s'exprime à l'équilibre [2] :

$$F \cong \frac{\tan(\phi)}{2 \tan(\beta)} = 1 \quad (1)$$

Pour un sable, la valeur de ϕ est comprise entre 30° et 35°, ce qui mènerait selon (1) à $\beta = 16,1^\circ$ à $19,2^\circ$, valeurs cohérentes au regard de la valeur de 14° qui précède.

En différents points du site, les pentes sableuses sont pourtant localement bien plus élevées, ce qui laisse supposer un risque d'instabilité réel, mais non observé directement. En effet, outre la difficulté d'observation liée à la submersion des pentes, cette approche de l'équilibre mécanique des portions en sable du talus se heurte à deux processus en interaction : le déplacement dans le temps de certaines parties de ces portions, et le mouvement de l'eau au voisinage des parois, qui est particulièrement turbulent.

Sur les portions présentant un enrochement, les pentes sont plus élevées, atteignant localement 45° (1H/1V), ce qui est acceptable en contexte continental stable, mais présente plus de risque au contact d'un écoulement rapide et perturbé. Plus particulièrement, les caractéristiques des matériaux, très hétérogènes, et enchevêtrés pour large part, ne permettent pas une première approche mécanique simple.

2.2 Comportement de l'eau au contact du talus

Du point de vue de l'hydraulique souterraine, les marées constituant un moteur important de l'infiltration et l'exfiltration des eaux vers et depuis le corps de l'ouvrage, ou le terrain naturel. Pendant la période de jusant, le massif de l'ouvrage et le terrain naturel sont saturés, leur poids volumique est alors potentiellement en faveur d'un déséquilibre si la pente du talus est forte ou la dénivellation intertidale élevée [5]. Le mouvement des vagues rend plus complexe ces conditions d'infiltration et d'exfiltration, et des effets comparables peuvent également résulter de l'action cyclique de la houle [6].

Les effondrements, régulièrement observés au voisinage de l'ouvrage situé à l'extrême Sud du tronçon étudié, se produisent systématiquement en période de basse mer, ce qui confirme l'incidence importante du marnage, au moins pour le déclenchement de l'effondrement.

Du point de vue de l'hydraulique à surface libre, le site d'étude est soumis aux courants généraux d'entrée et de sortie du Bassin au cours des cycles de marée. Il est toutefois également caractérisé par une perturbation locale des écoulements, lié à la géométrie de la façade Est du Cap. Bien que supposé de tracé régulier, il présente des irrégularités à l'origine de remous (turbulence, contre-courants), et ces remous influencent le comportement du matériau solide (voir 2.3).

La particularité de ce site, aisément observable visuellement depuis le rivage au cours d'un cycle de marée, est l'existence de deux échelles de perturbations du comportement hydraulique. La première échelle est celle du Cap entier qui impose une modification de direction au courant de flot. La seconde échelle est celle des irrégularités du tracé des ouvrages, créant des redents saillants et perturbateurs pour les courants de proximité.



FIG. 5 – Photographie illustrant les contre-courants et la turbulence présents au voisinage des ouvrages

En partie 3 est présentée une approche hydrodynamique appliquée à l'ensemble du tronçon d'étude au sein du système Bassin d'Arcachon, qui privilégie le rôle de la géométrie du talus dans le comportement et l'efficacité des ouvrages.

2.3 Interactions entre l'eau et le domaine solide

L'interaction entre l'eau et le domaine solide se manifeste essentiellement par une érosion (disparition progressive de matériau sur des surfaces ou des longueurs conséquentes, ou à l'intérieur du massif de l'ouvrage), un affouillement (formation localisée d'un trou ou d'une fosse), ou un colmatage (apport de

matériau plus fin qui comble des vides ou vient s'accumuler contre le talus ou déformer celui-ci).

Des travaux d'investigation complémentaires doivent ici être menés pour une connaissance suffisante des mécanismes, certainement liés à l'agitation caractéristique des lieux, et susceptibles d'aggraver localement un processus d'érosion par ailleurs actif sur l'ensemble du fond du chenal d'entrée du Bassin. Cette érosion est à l'origine notamment du mouvement de passes et de bancs de sable sur l'ensemble de l'entrée du Bassin, ainsi que de l'évolution lente de la forme du Cap-Ferret.

La situation est ici rendue plus complexe par l'apport sédimentaire que constitue la dérive littorale, en provenance du Nord de la façade océanique.

3 Interactions entre processus et ouvrages de défense

A l'examen des multiples processus décrits dans la partie précédente, une analyse des interactions entre ceux-ci et les ouvrages de défense (notamment pour évaluer leur efficacité, leur stabilité, et le cas échéant les adaptations nécessaires), devrait pouvoir rendre compte de la stabilité mécanique des talus, dans un contexte d'érosion à long terme, et capable de simuler des facteurs potentiellement aggravants représentés à différentes échelles, comme des écoulements tourbillonnaires générés à chaque marée.

Nous présentons ici une première approche purement hydrodynamique. Dans cette approche, nous avons utilisé le modèle d'hydraulique à surface libre Telemac 2D, qui résout les équations de Saint-Venant à deux dimensions, par la méthode des éléments finis. Le modèle a été appliqué à l'ensemble du Bassin, mais en adoptant un maillage resserré au voisinage des ouvrages étudiés. Il a permis une première analyse des incidences réciproques entre les courants et les ouvrages.

La figure ci-dessous (Figure 6) montre un exemple de résultat du modèle appliqué au site du Cap-Ferret. La bathymétrie est figurée par un niveau de bleu devenant plus foncé dans les zones plus profondes. La présence des secteurs d'affouillement (fosses) face aux parties les plus saillantes du tronçon est manifeste. Les vitesses moyennes sur la verticale, ont été portées en quatre instants d'une période de simulation.

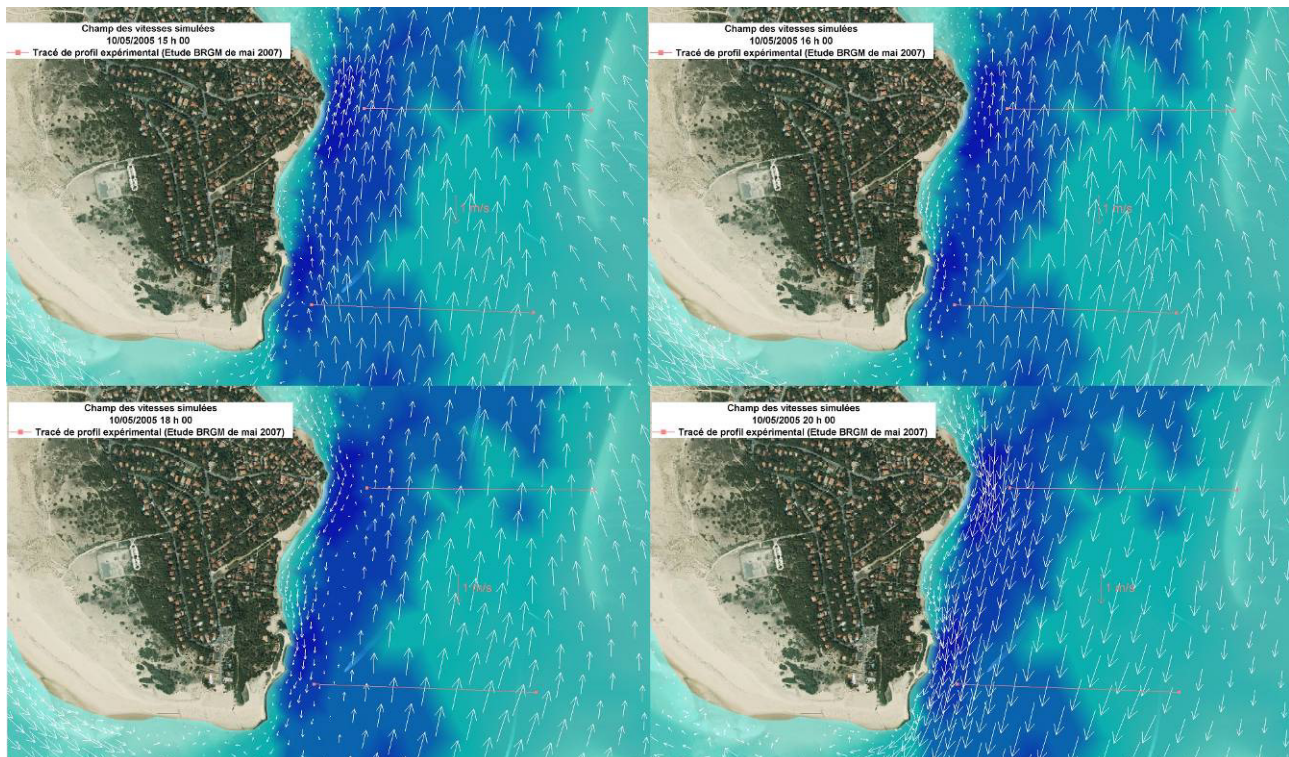


FIG. 6 – Vitesses modélisées au voisinage des ouvrages, simulation du 10/05/2005

Le champ des vitesses fait apparaître l'établissement, au cours de l'intensification du flot, d'un contre-courant qui long le rivage concerné. Ce phénomène est caractéristique du contournement d'un angle par un courant d'intensité suffisante [7]. Sa direction favorise l'exportation des sédiments vers l'extérieur du bassin, mais son intensité est inférieure à celle des courants principaux plus au large. Le rôle du courant sur ces affouillements n'est pas démontré par cette approche, la mobilisation et le transport des sédiments n'ayant

pas été pris en compte. Il apparaît toutefois que le domaine concerné par ces fosses est à l'échelle de l'incidence de l'angle intérieur du cap qui se traduit par l'inversion des courants. Le modèle ne permet en revanche pas d'accéder à l'échelle plus restreinte des irrégularités du tracé constituées par les anses présentes au Sud du tronçon

La période correspond notamment aux dates de réalisation d'une campagne de mesures de vitesses par le BRGM, suivant deux profils portés sur les figures [8]. Cette campagne a permis notamment de confirmer la présence et l'intensité de ce contre-courant.

Cette approche se situe en complément de nombreuses études hydrodynamiques du Bassin d'Arcachon, qui se sont attachées à simuler et analyser les effets érosifs des grands courants de remplissage et vidange du Bassin, qui occasionnent des vitesses avoisinant 3 m.s^{-1} [9]. Les effets des fortes houles sur la partie supérieure du trait de côte sont également importants sur ce site, ainsi que les apports de sédiments opérés par la dérive littorale. L'effondrement illustré par la figure 3, qui se produit à l'extrême sud du tronçon, reste mal expliqué par ce type de simulation.

4 Conclusion et perspectives

Le site étudié est caractérisé par un comportement mécanique à l'origine de risques et de désordres réels, mais un comportement complexe car dépendant de processus multiples et en interaction. La résolution des questions liées à la sécurité des riverains doit passer par l'explication de ce comportement, et la décision éventuelle de mettre en œuvre des mesures préventives.

Des initiatives ont dorénavant vu le jour sur le site, et le prolongement dans le temps de leur contribution, qui par la dynamique des lieux est continue, doit être accompagné pour garantir une durabilité des aménagements

Le travail réalisé à ce stade fait ressortir l'utilité d'étendre l'examen des processus à une échelle plus restreinte que celle générale du Bassin, des courants de marée qui le parcourent, et de la houle qui vient frapper ses côtes. Cette échelle est elle-même dédoublée au voisinage des ouvrages, qui peuvent induire des perturbations conséquentes. Des travaux complémentaires portant sur le rôle des irrégularités des ouvrages, ainsi que sur le rôle de l'agitation particulièrement entretenue en cette partie du Bassin, devraient aider à orienter les actions pour préserver ce site remarquable.

References

- [1] Froidefond, J.-M., Processus d'évolution d'un littoral sableux au cours de l'holocène. Application au domaine aquitain. Présentation d'une méthode de géomorphologie dynamique et quantitative. Thèse de doctorat, 237 p., 1982.
- [2] Philipponnat G., Hubert B. Fondations et ouvrages en terre. Editions Eyrolles, 548 p., 2007
- [3] CIRIA, CUR, CETMEF, Guide Enrochement. L'utilisation des enrochements dans les ouvrages hydrauliques. Version française du Rock Manual. CETMEF, Compiègne, 2009.
- [4] Revel, J. Analyse des ouvrages de la façade Est de la pointe du Cap-Ferret. Synthèse et analyse de la stabilité des ouvrages. CETE du Sud-Ouest, Département Laboratoire de Bordeaux, 15 p., 2012.
- [5] Rezzoug, A., Alexis, A., Thomas, P., Simulation expérimentale de l'écoulement dans un talus de sol soumis à la marée. Revue Française de Géotechnique, 69, 31-39, 1994.
- [6] Dormieux, L. Instabilité géotechnique des talus maritimes. Fascicule 5. Risques dynamiques pour les ouvrages maritimes et fluviaux. CETMEF, 1996
- [7] Hsu C., Tang C., Lee W., Shieh M. Subcritical 90° Equal-Width Open-Channel Dividing Flow. Journal of hydraulic engineering, 128(7), 716-720, 2002
- [8] Balouin, Y., Mallet., C. Hydrodynamique dans le chenal du Cap-Ferret Rapport de campagne. Rapport BRGM RP-55550-FR, 43 p., 23 ill., 52 p. d'annexes, 2007
- [9] Le Dissez, A. Modélisation numérique des écoulements tidaux en milieux peu profonds. Application à l'étude de l'hydrodynamique du bassin d'arcachon. Thèse de Doctorat, 205 p., 2006